



P803 052 /wo/n

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 198 32 167 A 1

51 Int. Cl. 6:  
**B 60 T 13/66**  
B 60 T 8/88  
B 60 T 8/60  
B 60 K 28/16

21 Aktenzeichen: 198 32 167.8  
22 Anmeldetag: 17. 7. 98  
43 Offenlegungstag: 27. 5. 99

DE 198 32 167 A 1

66 Innere Priorität:  
197 51 917. 2 22. 11. 97  
197 51 916. 4 22. 11. 97  
  
71 Anmelder:  
ITT Mfg. Enterprises, Inc., Wilmington, Del., US  
  
74 Vertreter:  
Blum, K., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

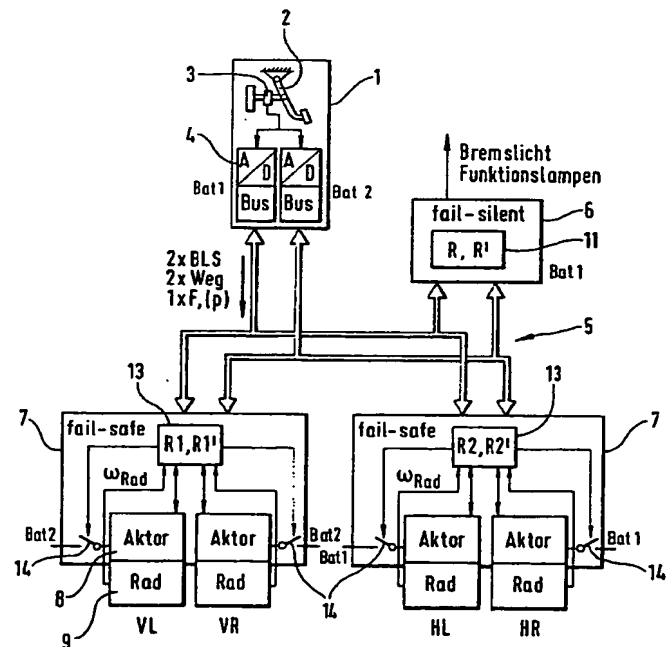
72 Erfinder:  
Böhm, Jürgen, Dr., 65558 Oberneisen, DE; Stölzl, Stefan, 69469 Weinheim, DE; Willimowski, Peter, 63486 Bruchköbel, DE; Nell, Joachim, 63454 Hanau, DE; Oehler, Rainer, 64285 Darmstadt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

## 54 Elektromechanisches Bremssystem

57 Die Erfindung betrifft ein elektromechanisches Bremssystem, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit einem Pedalmodul (1) und zumindest zwei Bremsmodulen (7). Weiterhin kann ein Zentralmodul (6) vorgesehen sein. Die Verbindung zwischen den vorgenannten Modulen kann durch einen Datenbus (5) erfolgen. Der Datenbus ist redundant ausgeführt. In einer Ausführungsform kann das Zentralmodul (6) Signale einer Sensorik (3) auswerten und auf ihre Fehler hin untersuchen. Weiterhin kann das Zentralmodul (6) einen entsprechenden Bremssollwert ausgeben, der dann an die Bremsmodule (7) ausgegeben wird. Die Bremsmodule (7) ermitteln daraufhin entsprechende Ansteuersignale für die Aktoren (8), die in eine Wirkverbindung mit den Rädern (9) treten, um den Bremswunsch des Fahrers umzusetzen.



DE 198 32 167 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein elektromechanisches Bremssystem und ein Verfahren zur Steuerung eines elektromechanischen Bremssystems, die durch den Einsatz eines redundanten Bussystems und durch redundante bzw. fehlererkennende Module die Systemsicherheit bei einer gleichzeitigen kostengünstigen Realisierung erhöhen.

In der derzeitigen Bremsentechnik gehen neuere Entwicklungen dahin, daß elektrische Bremssysteme untersucht werden. Die Hydraulikzylinder, die heute die Bremsbeläge gegen die Brems Scheibe pressen, werden an jeder Scheibe durch einen leistungsfähigen Elektromotor ersetzt. Die elektrische Bremse benötigt keine mechanischen oder hydraulischen Teile, wie Vakuumbremskraftverstärker oder Tandemhauptylinder. Weiterhin kann die elektrische Bremse heutige und auch zukünftige Funktionen einer Bremse übernehmen, wie Antiblockiersystem (ABS), Traktionskontrolle oder Antriebsschlupfregelung (ASR), Electronic Stability Program (ESP) sowie den automatischen Bremseneingriff, wie er beispielsweise bei Abstandsregelsystemen vorgesehen sein kann.

Ein Beispiel für ein derartiges System ist in der WO 95/13946 gezeigt. Dieses sogenannte elektronische Bremssystem weist ein Zentralmodul und den Bremskreisen oder Radgruppen zugeordnete Bremsmodule auf. Das Zentralmodul kann hierbei ABS-, ASR-Berechnungen durchführen, kann die Bremskraftverteilung einstellen und radspezifische Bremsdrucksollwerte ermitteln.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein elektromechanisches Bremssystem und ein Verfahren zum Steuern eines elektromechanischen Bremssystems, insbesondere für Kraftfahrzeuge, zu realisieren, die sicher und dabei kostengünstig aufgebaut sind sowie einen geringen Installationsaufwand benötigen.

Die Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Die abhängigen Patentansprüche zeigen vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterentwicklungen der Erfindung auf.

Erfindungsgemäß kann ein elektromechanisches Bremssystem, insbesondere für Kraftfahrzeuge, vorgesehen sein, welches ein Pedalmodul zum redundanten Erfassen einer Fahrerbetätigung eines Bremspedals mittels einer geeigneten Sensorik aufweisen kann. Das Bremssystem kann weiterhin eine Einrichtung zum Ermitteln eines Bremsollwerts basierend auf dem Fahrerwunsch aufweisen und es kann ein Bremsmodul zum Ansteuern von zumindest einer Radbremse, basierend auf dem Bremsollwert, vorgesehen sein. Weiterhin kann eine Datenübertragungseinheit vorgesehen sein, die redundant ausgeführt ist und eine Datenverbindung zwischen dem Pedalmodul, der Einrichtung und dem Bremsmodul herstellt, wobei die Einrichtung eine Fehlererkennungsschaltung aufweisen kann, die einen Fehler bei der Ermittlung des Bremsollwerts erkennen kann.

Das Bremsmodul kann als Kreismodul ausgebildet sein, wobei jeweils eine Leistungselektronik zur Ansteuerung von zwei Aktoren in dem Kreismodul enthalten sein kann. In jedem Kreismodul kann aktorspezifische Funktionssoftware (z. B. eine Spannkraftregelung) für zwei Aktoren implementiert sein.

Die Module können über einen doppelten Datenbus bzw. die Datenübertragungseinheit verbunden sein. Die Architektur des Bremssystems ist im wesentlichen durch die Signal- und Redundanzschnittstellen der Module gekennzeichnet, die z. B. fehlertolerant, fail-silent oder fail-safe ausgebildet sind. Die Architektur legt damit besonderen Wert auf die Funktionsaufteilung der Fehlererkennung durch die Module selbst.

Zur Kosteneinsparung kann weiterhin eine Zentralmodulfunktion in einem Kreismodul bzw. einem Bremsmodul realisiert werden.

Erfindungsgemäß kann somit ein modularer Aufbau erzielt werden, wobei Fehler auf der Komponentenebene isoliert werden, so daß keine Fehlerfortpflanzung erfolgen kann. Weiterhin kann durch das Vorsehen des Datenbusses, welcher die einzelnen Module direkt verbindet, die Wegstrecke der Übertragung von Analogsignalen minimiert werden, so daß der Aufwand für eine EMV-Störfestigkeit relativ gering gehalten werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß ein sicherheitskritisches Zuspinnen einer Bremse – mit und ohne Vorliegen eines Bremswunsches – infolge eines Fehlers in einem Rechner, einer Leistungselektronik oder einem Aktor mit Sensoren nicht möglich ist.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild gemäß einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild gemäß einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild gemäß einer dritten Ausführungsform;

Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung und

Fig. 5 ein schematisches Blockschaltbild gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung.

Die Fig. 1 zeigt ein Pedalmodul 1 mit einem schematisch angedeuteten Bremspedal 2. Das Bremspedal 2 bzw. die Bewegung des Bremspedals 2 kann beispielsweise über eine Sensorik 3, die drei Sensoren aufweist, erfaßt werden. Es können zwei Wegsensoren und ein Kraftsensor verwendet werden. Die Ausgangssignale dieser Sensorik 3 werden dann Modulen zur Umwandlung von Signalen der Sensorik 3 in Digitalsignale zugeführt. Diese Module können bspw. zwei integrierte Analog-/Digital-Wandler 4 sein. Die Analog-/Digital-Wandler 4 sind mit einem Datenbus 5 gekoppelt.

Es ist auch denkbar, für jeden Sensor einen eigenen Analog-/Digital-Wandler 4 vorzusehen und die gewandelten Werte auf zwei Busanschlüssen zu geben (nicht dargestellt). Die erste Struktur (wie dargestellt) hat Vorteile in der einfacheren Aufteilung der Spannungsversorgung, wobei die zweite Struktur Vorteile in der einfacheren Fehlererkennung bezüglich Sensor- und Wandlerfehlern besitzt.

Im folgenden soll nun beispielhaft eine Funktionsbeschreibung der Systemarchitektur gemäß der Fig. 1 gegeben werden.

Der Fahrerbremswunsch kann im Pedalmodul 1 über die entsprechende Sensorik 3 erfaßt werden. Die Sensorik 3 ist redundant und dissimilar aufgebaut. Hierbei wird beispielsweise der Pedalweg und die Fußkraft erfaßt. Die analogen Signale der Sensorik 3 werden lokal in digitale Werte gewandelt und ohne weitere Aufbereitung auf den redundanten Datenbus 5 übertragen. Die übertragenen Daten können jedoch fehlerbehaftet sein.

Die Datenkonsolidierung, d. h. die Erkennung defekter Sensoren oder defekter Hardware und eine Bestimmung eines Bremsollwerts basierend auf den Ausgangssignalen der Sensorik 3 können nun beispielsweise in dieser Ausführungsform in einem Zentralmodul 6 erfolgen. Der in dem Zentralmodul 6 ermittelte Bremsollwert kann dann an Bremsmodule 7 über den Datenbus 5 übermittelt werden. Der Bremsollwert bzw. der Bremswunsch wird dann in den Bremsmodulen 7 in einen Sollwert einer Zuspinnkraft, eines Bremsmoments und/oder in eine äquivalente Größe

übertragen.

Das Zentralmodul 6 kann dem Bremssollwert höhere Funktionen, wie beispielsweise ABS, ASR, usw., überlagern und damit den Bremssollwert ändern, sofern erforderlich. Weiterhin kann das Zentralmodul 6 fail-silent ausgebildet sein. In einem Fehlerfall geht das Zentralmodul in einen sicheren Zustand über, so daß es andere Komponenten oder das Gesamtsystem nicht beeinträchtigt. In dieser Ausführungsform schaltet sich das Zentralmodul bei einem erfaßten Fehler ab.

Ist dies der Fall, so wird eine Notlauffunktion aktiviert, in der die Generierung des Bremssollwerts in jedem Bremsmodul 7 ausgeführt wird. Notwendig dafür ist lediglich die Auswertung eines Sensorsignals der Sensorik 3. Aus physikalischen Gründen (Auflösung, Rauschen, etc.) ist es jedoch sinnvoll, mehr als einen Sensor auszuwerten. Eine Überwachung der redundanten Sensoren erfolgt jedoch in der Notlauffunktion in den Bremsmodulen 7 nicht.

Falls in einem Bremsmodul 7 höhere Funktionen implementiert sind (siehe Fig. 2), wird in diesem Bremsmodul 7 der Bremssollwert aus den Sensorsignalen ermittelt und über den Datenbus 5 an das andere Bremsmodul 7 übertragen. Fällt ein Bremsmodul 7 aus, so übernimmt das intakte Bremsmodul 7 die Berechnung des Bremssollwertes. Das Bremsmodul 7 ohne die implementierte höhere Funktion führt jedoch keine Datenkonsolidierung und Fehlererkennung durch.

Die Fig. 2 enthält somit eine kostengünstige Variante des Bremssystems, bei der die Zentralmodulfunktion in einem Bremsmodul 7 vorgesehen ist.

In den Fig. 1 und 2 sind vier Aktoren 8 dargestellt, welche eine Bremskraft auf jeweils ein Rad 9 ausüben können. Die Aktoren 8 sind beispielsweise Elektromotoren, die Bremsbeläge gegen eine Brems Scheibe des Rads 9 drücken.

Weiterhin ist in den Fig. 1 und 2 dargestellt, daß zwei Stromversorgungen Bat 1, Bat 2 vorgesehen sind, wobei jeweils eine Stromversorgung für ein Bremsmodul 7 vorgesehen ist. Somit ist sichergestellt, daß bei Ausfall einer Stromversorgung noch ein Bremsmodul 7 sicher mit Strom versorgt werden kann. Dasselbe gilt für die Analog-/Digital-Wandler 4.

Die Bremsmodule 7 sind fail-safe ausgebildet. Die Leistungselektronik, die Aktoren, die Sensoren des Aktors und der Rechner des Bremsmoduls 7 werden beispielsweise über Rechenmodelle mit der Realität abgeglichen. Anstatt der Rechenmodelle (z. B. Differentialgleichung) könnte natürlich auch eine vorab gespeicherte Tabelle vorgesehen sein, mit der die Bremsmeßwerte überwacht werden, wobei dann bei einer Abweichung von der Modellvorstellung bzw. den in der Tabelle abgespeicherten Werten von den Meßgrößen auf einen Fehler des Bremsmoduls 7 geschlossen werden kann. Das Bremsmodul 7 geht dann in einen sicheren Zustand über. Die Bremse wird dann gelöst und geht somit auf bzw. schleift lediglich an der Brems Scheibe des Rads 9. Die Fail-Safe-Ausbildung des Bremsmoduls 7 kann somit durch eine Hardwareredundanz und eine analytische Redundanz (Software redundanz) erzielt werden.

Weiterhin enthalten die Bremsmodule 7 jeweils eine Einrichtung zur zeitsynchronen Erfassung von Raddrehzahlen. Die Raddrehzahlen werden in den Datenbus 5 gespeist und zu dem Bauteil oder Element geführt, das die höheren Funktionen ausführt. Die Bremsmodule 7 haben eine gemeinsame Zeitbasis.

In der Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Wie in den Fig. 1 und 2 wird in der Fig. 3 der Fahrerbremswunsch mit einer geeigneten Sensorik 3 erfaßt. Die Sensorik 3 kann hierbei aus redundanten Sensoren bestehen, die beispielsweise den Pedalweg und die Fußkraft

erfassen. Diese analogen Signale werden wiederum lokal in digitale Werte gewandelt. Die Datenkonsolidierung, d. h. die Erkennung defekter Sensoren oder defekter Hardware und die Bremssollwertermittlung erfolgt nun in Pedalmodulrechnern 10. Das Pedalmodul 1 ist damit fehlertolerant ausgeführt. Das fehlertolerante System gibt ein konsolidiertes Signal aus, wobei davon ausgegangen wird, daß das konsolidierte Signal (d. h. z. B. der Bremssollwert) korrekt ist. Wenn ein Fehler eines Sensor der Sensorik 3 erkannt wird, so kann sich das fehlertolerante Pedalmodul 1 rekonfigurieren, wobei dann die gleiche Funktion wie vorher ohne einen Funktionsverlust ausgeführt werden kann.

Der konsolidierte Bremssollwert wird dann an das Zentralmodul 6 übertragen, durch höhere Funktionen (ABS, ASR, usw.) eventuell modifiziert und dann an die Bremsmodule 7 übertragen. Die Bremsmodule 7 verwenden den Bremssollwert dann zur Ausgabe einer Zuspannkraft, eines Bremsmoments oder von äquivalenten Größen, wobei dann die Aktoren 8 entsprechend betätigt werden. Fällt das Zentralmodul 6 aus, so wird auf eine Notlauffunktion geschaltet. Dasselbe gilt, wenn die Zentralmodulfunktion in einem Bremsmodul 7 realisiert ist.

In der Notlauffunktion wird in dieser Ausführungsform der Bremssollwert in jedem Bremsmodul 7 direkt in einen entsprechenden Sollwert der Zuspannkraft, des Bremsmoments, usw., umgerechnet.

Falls die höheren Funktionen in einem Bremsmodul 7 implementiert sind (Fig. 4), so wird in diesem Bremsmodul 7 der Bremswunsch modifiziert und über den Datenbus 5 an das andere Bremsmodul 7 als modifizierter Bremssollwert übertragen. Dieser modifizierte Bremssollwert wird dann wiederum zum Ermitteln und zur Ausgabe einer entsprechenden Zuspannkraft, eines Bremsmoments oder einer äquivalenten Größe herangezogen. Fällt ein Bremsmodul 7 aus, so übernimmt das intakte Bremsmodul 7 die Bestimmung der Zuspannkraft des Bremsmoments oder der äquivalenten Größen.

Der Aufbau des Pedalmoduls 1 ist mehrfach redundant ausgeführt. Es können zumindest drei Rechner vorgesehen sein, so daß die Erzeugung des Bremssollwerts fehlertolerant ist.

Als Ausführungsbeispiel ist in den Fig. 3 und 4 eine Rechnerstruktur des Pedalmodulrechners 10 dargestellt, die zwei redundante Rechner in einer Duo-/Duplexstruktur aufweist. Bei dieser Variante besteht der Rechner des Pedalmoduls 1 aus vier Rechnern (R1, R1', R2, R2'), wobei jeweils zwei zu einer eigensicheren (fail-silent) Struktur zusammengefaßt sind. Pro Rechnerpaar wird ein konsolidierter Fahrerbremswunsch ermittelt und auf den Datenbus 5 gegeben. Tritt ein Rechenfehler auf, so schaltet sich der betroffene redundante Rechner ab, d. h. es wird entweder ein fehlerfreier oder gar kein Bremssollwert ausgegeben. Weiterhin wäre denkbar einen Dreifachrechner mit nachgeschaltetem Voter/Monitor einzusetzen. Bei dieser Struktur würde nur ein konsolidierter Bremssollwert ausgegeben werden.

Im folgenden wird bezüglich der Fig. 1 bis 4 die Funktion der einzelnen Module und Elemente des Bremssystems näher erläutert.

Das Zentralmodul 6 bzw. die Steuereinheit enthält die vorgenannten höheren Funktionen und führt im Ball des nicht selbstsicheren Pedalmoduls 1 die Ermittlung des Bremssollwertes durch. Weiterhin führt das Zentralmodul 6 im Fall des nicht fehlertoleranten bzw. nicht selbstsicheren Pedalmoduls 1 eine Fehlererkennung des Pedalmoduls 1 durch. Der Zentralmodulrechner 11 ist redundant und schaltet sich im Fehlerfall selbst ab. Das Zentralmodul 6 verhält sich dann entweder still (fail-silent) oder gibt noch eine Meldung über seinen Ausfall ab, um das Gesamtsystem in einen

sicheren Zustand zu überführen (fail-safe). Ein fehlerhafter Wert wird nicht ausgegeben. Sind die Funktionen des Zentralmoduls 6 in einem Bremsmodul 7 implementiert (Fig. 2 und 4), so gilt das oben Gesagte äquivalent. Bei dieser Ausführungsform fällt jedoch die Schnittstelle Zentralmodul/Bremsmodul weg.

Das Bremsmodul 7 besteht aus einem redundanten Bremsmodulrechner 13 (R1, R1'), der Leistungselektronik für zwei Aktoren 8 und einer redundant ausgeführten oder zyklisch testbaren Abschaltseinheit 14. Die aktorspezifischen Sensorsignale (z. B. Strom, Spannung, Position, Temperatur, usw.) werden dem Bremsmodul 7 bzw. dem Bremsmodulrechner 13 zugeführt.

Die Abschaltseinheit 14 ist sicherheitstechnisch getrennt von der Leistungselektronik, d. h. ein Fehler der Leistungselektronik beeinflusst die Funktion der Abschaltung nicht. Durch die redundante Rechnerstruktur ist sichergestellt, daß bei einem Abschaltbefehl des Zentralmoduls 6 oder bei einem Fehler im Bremsmodul 7 der Abschaltbefehl lokal korrekt ausgeführt wird. Durch diese Struktur kann eine separate Abschaltleitung vom Zentralmodul 6 eingespart werden.

Die Redundanzschnittstelle ist in diesem Fall fail-safe, d. h. das Bremsmodul 7 erfüllt seine spezifische Funktion oder schaltet sich im Fehlerfall selbst ab und meldet die Fehlfunktion oder ist im Falle eines Rechnerfehlers still. Durch die Fail-Safe-Struktur ist sichergestellt, daß ein Fehler erkannt wird und der Aktor 8 abgeschaltet werden kann.

Somit wird eine analytische Redundanz (Softwareredundanz) für die Leistungselektronik, den Aktor 8 und die Sensoren des Aktors 8 erhalten. Damit wird eine Fehlererkennung ermöglicht, die auf der Basis der aktorspezifischen Sensoren (Stromsensor, Positionssensor, Spannkraftsensor, Temperatursensor, usw.) und dem spezifischen mathematischen Modell des Aktors 8 durchgeführt wird. Ist die (eventuell aufbereitete) Differenz zwischen dem Modellausgang und den gemessenen Signalen zu groß, so liegt ein Fehler vor und der Aktor 8 wird abgeschaltet.

Es ist auch denkbar, daß ein Bremsmodul 7 für jede Radbremse vorgesehen ist. Ein Kreisausfall bei Ausfall eines Bremsmoduls ist dadurch ausgeschlossen.

Für alle Module gilt, daß redundante Rechner mit der Eigenschaften fail-silent oder fail-safe beispielsweise durch zwei vollständige, parallele Rechner mit gleichem oder dissimilarem Aufbau aufgebaut werden können. Weiterhin wäre es möglich, eventuell einen Doppelrechner mit Kernredundanz zu verwenden. Ähnliche Strukturen wären auch für einen fehlertoleranten Dreifachrechner möglich. Beim Dreifachrechner würde jedoch anstelle eines Vergleichers (Zweirechnerkonzept) ein fehlertoleranter Voter/Monitor benötigt.

Der Datenbus 5 ist doppelt ausgeführt und mit jedem Modul verbunden. Aus Kostengründen kann ein reduzierter Doppelbus 5 eingesetzt werden. Der zweite Bus bis zum Zentralmodul 6 und einem Bremsmodul könnte eingespart werden. Die Sicherheit bezüglich der Bremsfunktion im Fehlerfall bleibt jedoch erhalten, da die Verbindung von dem Pedalmodul 1 zu einem Bremsmodul 7 (z. B. für die Vorderachse) doppelt ist. Es tritt aber gegenüber der vollständigen Doppelbus-Struktur ein Funktionsverlust z. B. (höhere Funktionen) bei einem Busfehler im Einfach-Bus auf. Dieser Funktionsverlust ist jedoch eventuell tolerierbar.

Der Datenbus 7 kann ein CAN (Controller Area Network)-Bus mit einer ereignisorientierten Datenübertragung sein. Weiterhin kann ein TTP (Time Triggered Protocol) verwendet werden, so daß ein zeitsynchrones Rechnernetz möglich wird.

Eine zentrale und synchrone Erfassung der Raddrehzah-

len kann im Zentralmodul 6 erfolgen oder in einem Bremsmodul 7. Bei einer getrennten Erfassung und Aufbereitung der Raddrehzahlen und der Busübertragung muß in den Bremsmodulen 7 die Erfassung zeitsynchron erfolgen. Dies ist beispielsweise bei der Verwendung eines TTB-Busses einfach zu realisieren. Mit dem CAN-Bus ist ein größerer Aufwand erforderlich, um die nötige Synchronität zu erreichen.

Als Energieversorgung sind zumindest zwei unabhängige Versorgungsquellen notwendig (Bat 1, Bat 2).

Durch das erfindungsgemäße Vorsehen von zwei Aktoren 8 in einem Bremsmodul 7 ergibt sich im Fehlerfall eine der hydraulischen Bremse vergleichbare Degradation. Beim Ausfall eines Bremsmoduls 7 oder einer Energieversorgung fallen zwei Bremsen 8, 9 aus. Somit kann von einem Kreisausfall gesprochen werden. Sind die höheren Funktionen in dem betroffenen Bremsmodul 7 implementiert (vgl. Fig. 2 und 4), so fallen diese mit aus. Dies kann tolerierbar sein, da bei einem Kreisausfall auch keine höheren Funktionen mehr benötigt werden. Ansonsten ist bei einem Fehler in einem Aktor 8 und dem zugehörigen Leistungsteil und den Sensoren nur eine Radbremse betroffen. Beim Ausfall des Zentralmoduls 6 fallen beispielsweise auch die höheren Funktionen aus (vgl. Fig. 1 und 3), wobei die volle Radbremsfunktion erhalten bleibt. Ein Ausfall eines Busses hat keine Degradation zur Folge (außer bei dem Einsatz des vorgenannten reduzierten Doppelbusses).

Die erfindungsgemäße Systemarchitektur gewährleistet, daß keine Fehlerfortpflanzung auftritt. Erfindungsgemäß wird ein Fehler erkannt, bevor er sich auf andere Funktionen oder Module auswirken kann. Weiterhin sind die Verkoppelungen reduziert und der Kommunikationsaufwand ist im Fehlerfall minimal. Für die Fehlerfortpflanzung und den Aufwand zur Fehlererkennung ist es dabei unerheblich, ob die Funktion Fahrerwunschserfassung (Brems Sollwertermittlung) und Fehlererkennung der Pedalsensoren im Pedalmodul 1 oder im Zentralmodul 6 bearbeitet werden.

Die Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Im Unterschied zu den vorangegangenen Ausführungsformen ist jedes Bremsmodul 7 nun mit einem redundanten Rechner 13, einer Leistungselektronik, einem Aktor 8 und den aktorspezifischen Sensoren (z. B. Strom, Spannkraft, Position) und einer redundant ausgeführten oder zyklisch testbaren Abschaltseinheit 14 für die Spannungsversorgung des Aktors 8 versehen. Insbesondere ist der redundante Rechner 13 nun jeweils für eine Radbremse vorgesehen. Somit ist bei einem Ausfall des Rechners 13 lediglich eine Radbremse betroffen, wobei dann die anderen Bremsmodule 7 nach wie vor fehlerlos funktionieren.

Der Datenbus kann aus Kostengründen reduziert ausgebildet sein. Der zweite Bus zu den Bremsmodulen 7 der Hinterachse (HR, HL) und zum Zentralmodul 6 kann eingespart werden. Die Sicherheit bezüglich der Bremsfunktion im Fehlerfall bleibt jedoch erhalten, da die Verbindung zwischen dem Pedalmodul 1 zu den vorzugsweise vorderen Bremsmodulen 7 (VR, VL) doppelt ist. Es tritt aber gegenüber der vollständigen Doppelbusstruktur (vgl. Fig. 1 bis 4) ein Funktionsverlust bei einem Busfehler im Einfach-Bus auf. Dieser Funktionsverlust ist jedoch tolerierbar.

Betreffend der Degradation im Fehlerfall ist der Funktionsverlust gering. Nur bei einem Ausfall einer Energieversorgung (Rad 1 oder Rad 2) fallen zwei Bremsen (Kreisausfall) aus, ansonsten ist immer nur eine Radbremse 7 betroffen. Beim Ausfall des Zentralmoduls 6 gehen lediglich die höheren Funktionen (ABS, ASR, ESP, ...) verloren, wobei die volle Grundbremsfunktion erhalten bleibt. Ein Ausfall eines Busses hat keine Degradation zur Folge. Bei einem reduzierten Doppelbus (wie in Fig. 5 dargestellt) können bei

einem Busfehler jedoch das Zentralmodul 6 und die Bremsmodule 7 ausfallen, die den hinteren Bremsen (HR und HL) zugeordnet sind. Die Architektur ist so konfigurierbar, daß bei einem Fehler nie die Hinterradbremse (HR und HL) allein zur Verfügung stehen. Die Systemarchitektur gewährt eine hohe Bremsverzögerung in allen Fehlerfällen.

Weiterhin sei angemerkt, daß die oben beschriebenen erfindungsgemäßen Funktionen und Systeme bzw. Module in jeder beliebigen Kombination alleine oder in ihrer Gesamtheit von der Erfindung umfaßt sind.

#### Patentansprüche

1. Elektromechanisches Bremssystem, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit einem Pedalmodul (1) zum redundanten Erfassen einer Fahrerbetätigung eines Bremspedals (2) mittels einer geeigneten Sensorik (3), einer Einrichtung zum Ermitteln eines Bremssollwerts basierend auf Ausgangssignalen der Sensorik (3), zumindest einem Bremsmodul (7) zum Ansteuern von zumindest einer Radbremse (8, 9) basierend auf dem Bremssollwert, und einer Datenübertragungseinheit, die redundant ausgeführt ist und eine Datenverbindung zwischen dem Pedalmodul (1), der Einrichtung und dem Bremsmodul (7) herstellt, wobei die Einrichtung eine Fehlererkennungsschaltung aufweist, die einen Fehler bei der Ermittlung des Bremssollwerts erkennt.
2. Bremssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung in einer Steuereinheit für höhere Funktionen des Bremssystems wie bspw. ABS, ASR, Fahrdynamik-regelungen, ICC, Bremsassistent, Hillholder vorgesehen ist.
3. Bremssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit als Zentralmodul (6) ausgebildet ist oder in dem Bremsmodul (7) integriert ist.
4. Bremssystem nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ausfall der Steuereinheit der Bremssollwert im Notlaufbetrieb über die Ausgangssignale zumindest eines Sensors der Sensorik (3) in dem Radmodul (1) ermittelt wird.
5. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Zentralmodul (6) oder die in das Bremsmodul (7) integrierte Steuereinheit eine Datenkonsolidierung zur Erkennung von Störungen des Pedalmoduls (1) und/oder der Steuereinheit durchführt.
6. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Pedalmodul (1) zumindest zwei Module (4) aufweist, die beispielsweise Analogsignale und/oder inkrementelle Signale der Sensorik (3) in Digitalsignale umwandeln, die über zumindest zwei sicherheitstechnisch getrennte Buskopplungen in den Datenbus (5) gespeist werden oder in dem Pedalmodul (1) digital weiterverarbeitet werden.
7. Bremssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung in dem Pedalmodul (1) ausgebildet ist.
8. Bremssystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Pedalmodul (1) fehlertolerant ist und eine Datenkonsolidierung zur Erkennung von Störungen des Pedalmoduls (1) durchführt.
9. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,

daß die Datenübertragungseinheit ein zumindest zwischen dem Pedalmodul (1) und dem Radmodul (7) doppelt ausgeführter Datenbus (5) ist.

10. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Pedalmodul (1) zumindest einen Pedalwegsensoren und zumindest einen Pedalkraftsensor aufweist.

11. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Bremsmodul (7) fail-safe ausgebildet ist.

12. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Zentralmodul (6) und/oder die Steuereinheit fail-silent ausgebildet sind.

13. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Bremsmodul (7) eine Fehlererkennung basierend auf lokalen aktorspezifischen Signalen wie beispielsweise Aktorstrom, Aktorposition, Spannkraft durchführt und bei einer Fehlererkennung eine entsprechende Meldung an das Bremssystem ausgibt, sich abschaltet und/oder eine Bremssollwertanpassung durchführt.

14. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Fehlererkennung modellgestützt erfolgt.

15. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Bremsmodul (7) eine von einer Leistungselektronik unabhängige oder sicherheitstechnisch getrennte Abschalteinheit (14) aufweist.

16. Bremssystem nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Bremsmodul (7) eine Einrichtung zur zeit-synchronen Erfassung einer Raddrehzahl vorgesehen ist und die Raddrehzahl in den Datenbus (5) gespeist wird.

17. Verfahren zur Steuerung eines elektromechanischen Bremssystems, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit den Schritten:

redundantes Erfassen einer Fahrerbetätigung eines Bremspedals (2) mittels einer geeigneten Sensorik (3) in einem Pedalmodul (1),

Ermitteln eines Bremssollwerts basierend auf Ausgangssignalen der Sensorik (3) in einer Einrichtung, Ansteuern von zumindest einer Radbremse (8, 9) basierend auf dem Bremssollwert in einem Bremsmodul (7), und

Herstellen einer redundant ausgeführten Datenverbindung zwischen dem Pedalmodul (1), der Einrichtung und dem Bremsmodul (7), wobei eine Fehlererkennungsschaltung einen Fehler bei der Ermittlung des Bremssollwerts erkennt.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

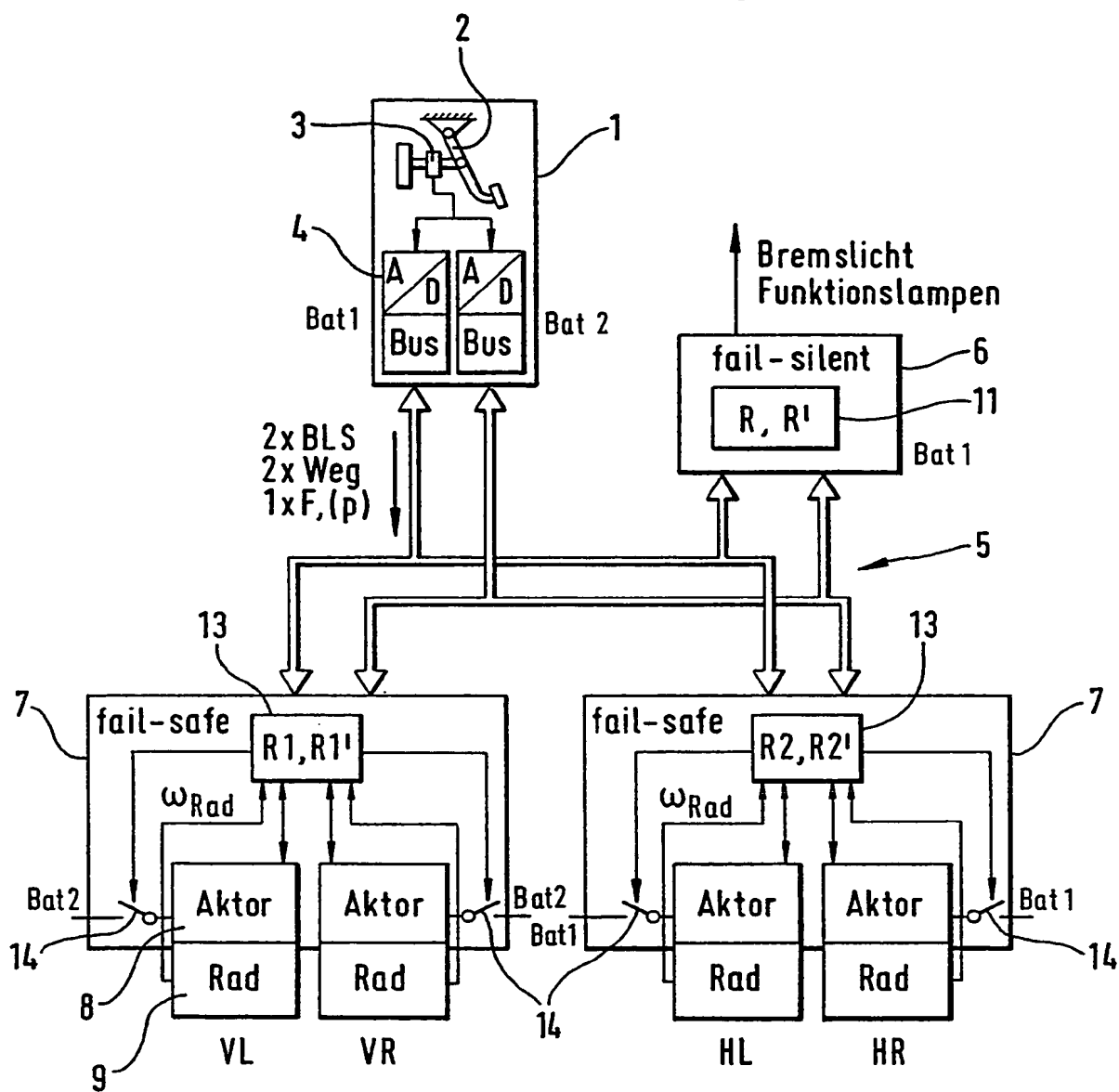


Fig. 2

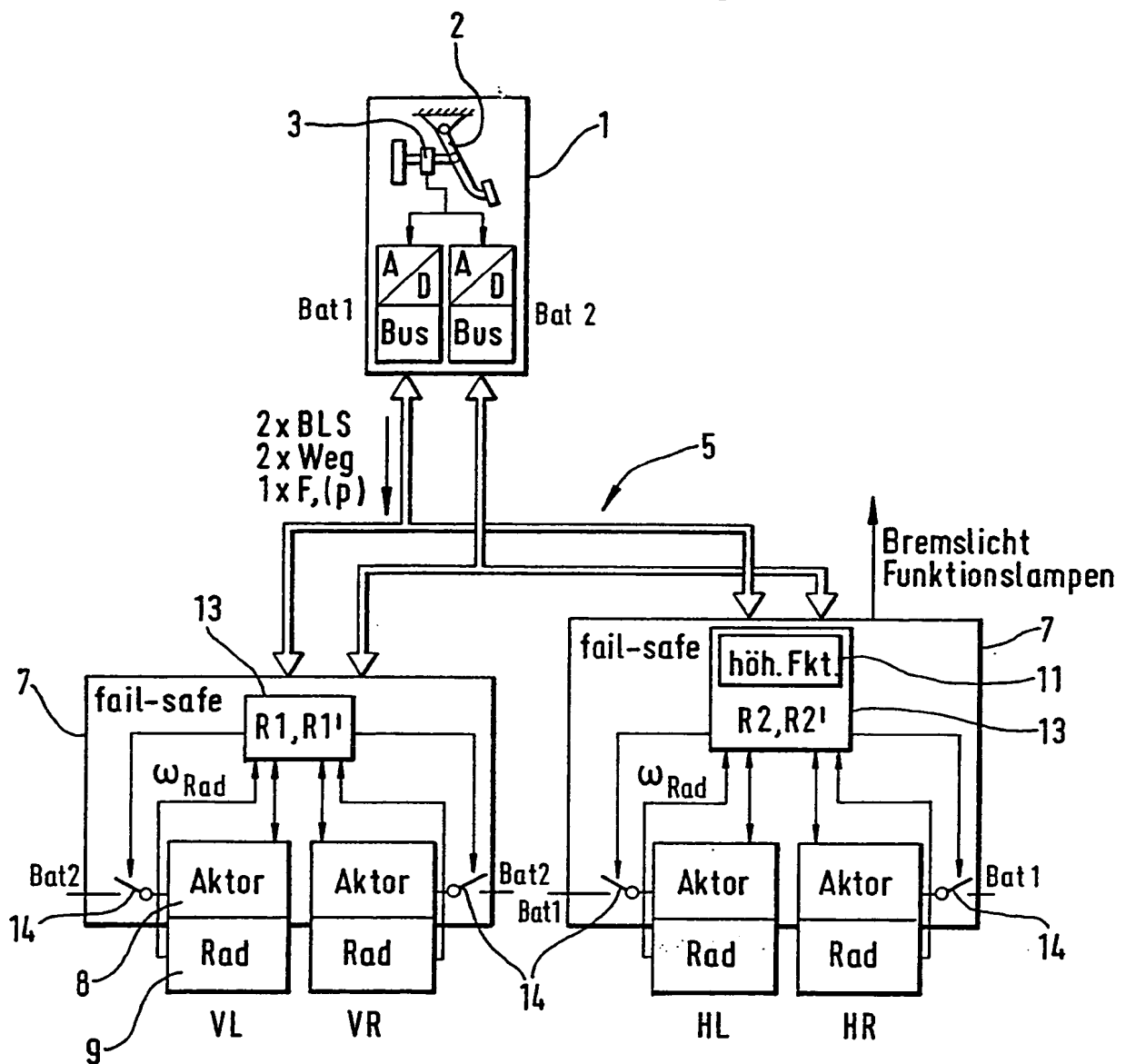


Fig. 3

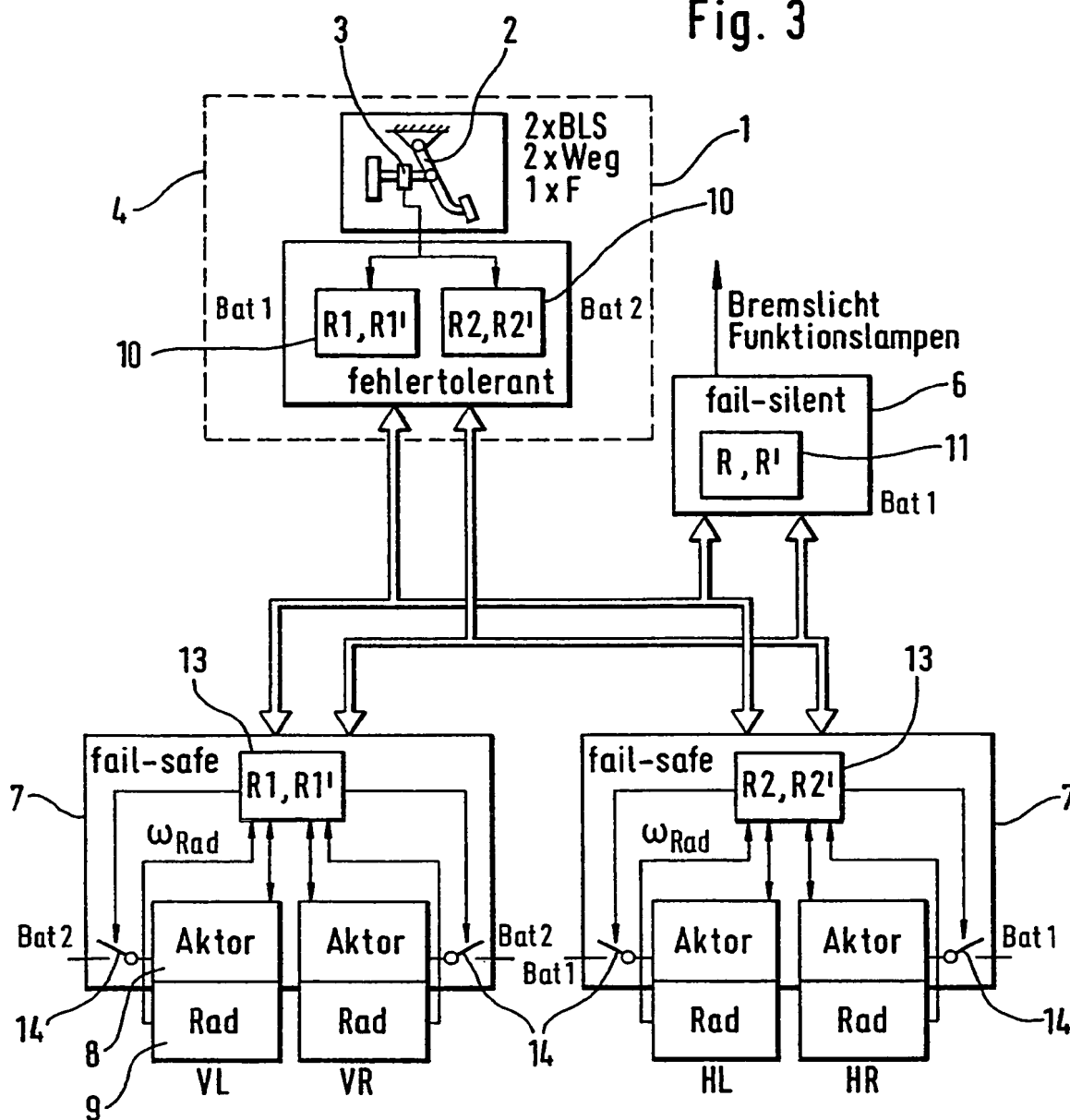




Fig. 4

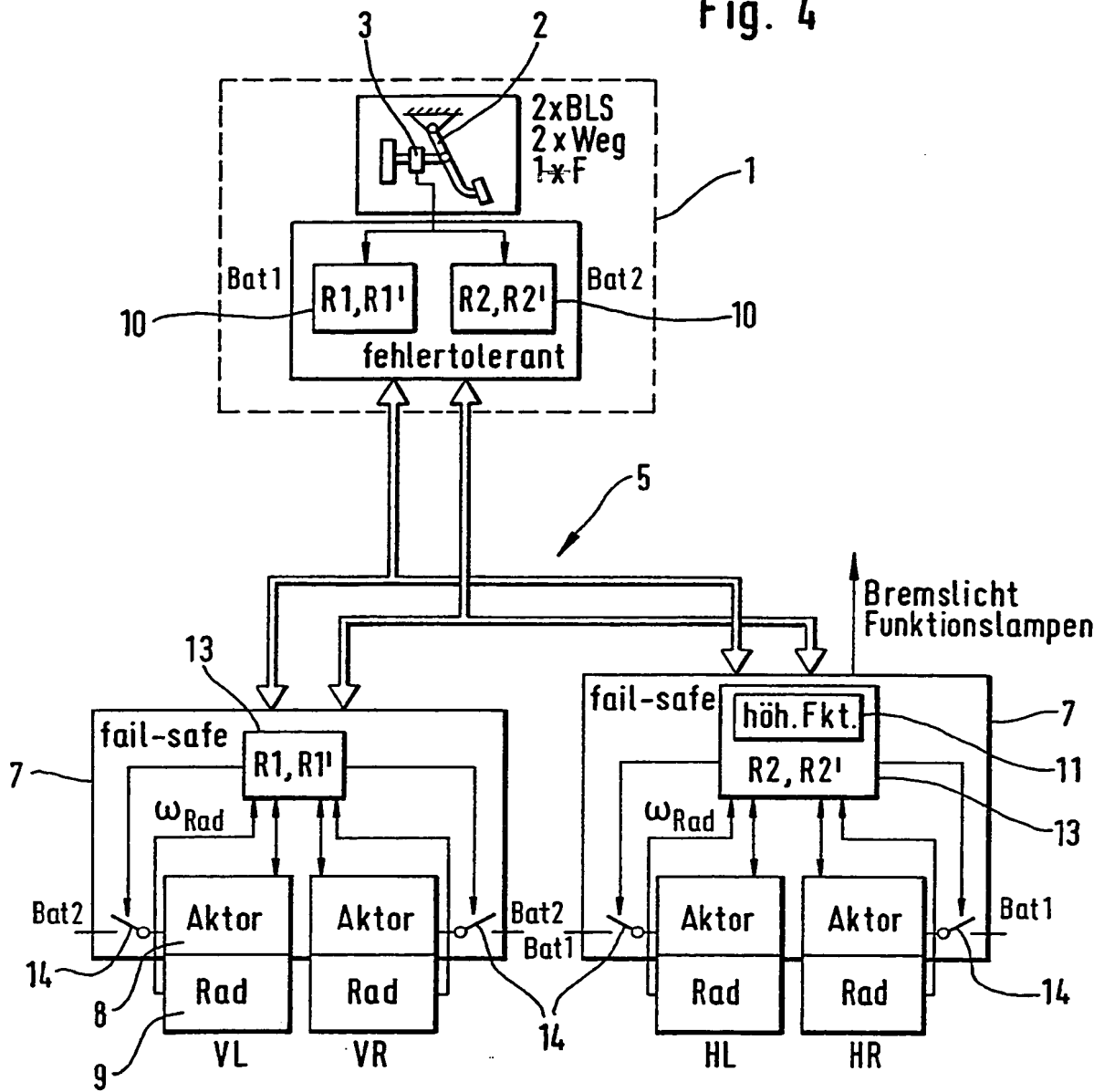


Fig. 5

